

**DANIEL SANTOS CAPOVILA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AREIAS NATURAIS DE  
SUBAÚMA (IGUAPE – SP) PARA EMPREGO EM CONCRETOS E  
ARGAMASSAS**

**São Paulo**

**2008**

**DANIEL SANTOS CAPOVILA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AREIAS NATURAIS DE  
SUBAÚMA (IGUAPE – SP) PARA EMPREGO EM CONCRETOS E  
ARGAMASSAS**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

**São Paulo**

**2008**

EPMI  
TF-2008  
C173c  
Systo 173552

DEPARTAMENTO DE

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AREIAS NATURAIS DE  
SUBAÚMA (IGUAPE - SP) PARA EMPREGO EM CONCRETOS E  
ARGAMASSAS

M2008f

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700004217

### FICHA CATALOGRÁFICA

Capovila, Daniel Santos  
Caracterização tecnológica das areias naturais de Subaúma  
(Iguape - SP) para emprego em concretos e argamassas / D.S.  
Capovila. -- São Paulo, 2008.

p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de  
Petróleo.

1. Areia (Materiais de construção) - Iguape (SP) 2. Caracteriza-  
ção tecnológica de minérios 3. Concreto 4. Argamassa I. Univer-  
sidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Lindolfo Soares por sua orientação e ensinamentos.

Ao Pedro Carlos Bilesky por seu auxílio imensurável.

Ao Engenheiro de Minas João Manoel Stevenson Braga por seu apoio e atenção e aos outros colegas da Viterbo Machado Luz e da Associação dos Mineradores de Areia do Vale do Ribeira.

A todos os amigos do LTM e do LCT, em especial ao Alfredo, Ângelo, Carlão, Juscelino e ao grande Tiquinho.

Aos técnicos do LMCC – IPT pela preciosa colaboração.

À minha família pelo apoio incondicional durante todo o curso e pela compreensão da minha ausência nesta etapa final.

## Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho e a viabilidade técnica e econômica da utilização das areias naturais da jazida de Subaúma (Iguape – SP) quando incorporadas na produção de concreto de cimento Portland e argamassas. Desta forma, primeiramente foram realizados ensaios de caracterização tecnológica das areias, no que diz respeito aos seus parâmetros tecnológicos e índices de qualidade do agregado. Por fim, foi avaliado seu desempenho como agregado miúdo em concretos e argamassas por meio de ensaios como reatividade álcali-agregado, resistência à compressão e resistência de aderência à tração.

Palavras-chaves: agregados, concreto, argamassa, caracterização tecnológica de minérios.

## Abstract

This study aims at evaluating the performance of the natural sands of Subaúma deposit (Iguape – SP), as well as its technical and economical status when incorporated to the pre-mixed concrete cement Portland and mortars. This way, first trials were conducted for the determination of technological parameters of the sands and quality factors of the aggregate. Finally, was evaluated its performance as fine aggregate for concrete and mortar by tests as alkali-aggregate reactivity, resistance to compression and strength of adhesion.

Key-words: aggregates, concrete, mortar, technology characterization of minerals.

## **Lista de Figuras**

Figura 1 - Pilha de homogeneização preparada e retirada das alíquotas .....	3
Figura 2 - Moldagem das barras e medida de uma das expansões .....	6
Figura 3 - Misturador mecânico .....	7
Figura 4 - Molde e mesa para determinação do índice de consistência .....	8
Figura 5 - Prensa hidráulica utilizada nos ensaios.....	8
Figura 6 - Limites da NBR-7211 (ABNT, 2005) e distribuição granulométrica das areias.....	11
Figura 7 – Solução padrão entre as amostras de areia fina e areia média .....	13
Figura 8 - Evolução da expansão e limites após 16 dias da NBR 15577 (ABNT, 2008).....	14
Figura 9 - Relação mássica entre água e cimento para cada um dos traços estabelecidos .....	15
Figura 10 - Resistência à compressão dos três traços da areia fina .....	17
Figura 11 - Resistência à compressão dos três traços da areia média .....	17
Figura 12 - Detalhe das superfícies logo após o ensaio de resistência à aderência .....	19

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Distribuição granulométrica dos agregados a serem ensaiados .....	6
Tabela 2 - Composição granulométrica da areia fina .....	10
Tabela 3 - Composição granulométrica da areia média .....	10
Tabela 4 - Limites granulométricos de agregado miúdo .....	10
Tabela 5 - Determinação da massa unitária - areia fina .....	11
Tabela 6 - Determinação da massa unitária - areia média .....	12
Tabela 7 - Teor de materiais pulverulentos .....	12
Tabela 8 - Teor de argila em torrões.....	12
Tabela 9 - Evolução da expansão das barras confeccionadas com a areia fina.....	13
Tabela 10 - Evolução da expansão das barras confeccionadas com a areia média .....	14
Tabela 11 - Relações água/cimento para cada um dos traços estabelecidos .....	15
Tabela 12 - Resistência à compressão dos concretos preparados com a areia fina .....	16
Tabela 13 - Resistência à compressão dos concretos preparados com a areia média .....	16
Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração - Areia fina .....	18
Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração - Areia média.....	18

## Sumário

1	Introdução .....	1
2	Revisão bibliográfica.....	1
3	Materiais e métodos .....	2
3.1	Amostragem .....	2
3.2	Determinação da composição granulométrica.....	3
3.3	Determinação da massa unitária .....	3
3.4	Determinação do teor de materiais pulverulentos.....	4
3.5	Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.....	4
3.6	Determinação de impurezas orgânicas.....	5
3.7	Determinação da reatividade potencial pelo método acelerado.....	5
3.8	Determinação do índice de consistência .....	7
3.9	Determinação da resistência à compressão.....	8
3.10	Determinação da resistência de aderência à tração.....	9
4	Apresentação e discussão dos resultados obtidos.....	9
4.1	Análise granulométrica .....	9
4.2	Massa unitária .....	11
4.3	Materiais pulverulentos.....	12
4.4	Teor de argila em torrões e materiais friáveis.....	12
4.5	Impurezas orgânicas.....	12
4.6	Reatividade potencial.....	13
4.7	Consistência das argamassas.....	15
4.8	Resistência à compressão.....	16
4.9	Resistência de aderência à tração.....	18
5	Conclusões e sugestões de continuidade do estudo.....	19
	Referências bibliográficas .....	20

## 1 Introdução

O Estado de São Paulo, representado principalmente pela Região Metropolitana, apresenta o maior consumo de agregados para a construção civil do Brasil, chegando a 4,5 t/hab/ano (VALVERDE, 2001). Não só o consumo, mas também sua produção vêm crescendo desde 2004, como revela o Sumário Mineral 2008 (DNPM, 2008).

As regiões produtoras de areias encontram-se cada vez mais distantes da capital, dados o esgotamento gradual das jazidas junto aos centros urbanos e a própria ocupação territorial.

Assim sendo, as areias utilizadas como agregado para construção civil em São Paulo são provenientes, na maior parte das vezes, de depósitos de planícies aluviais, como é o caso das jazidas do vale do Paraíba, e de depósitos de calha fluvial, como nas minerações do rio Tietê, do rio Paraná, do rio Grande e do Vale do Ribeira, onde as areias são extraídas de rios como o Ribeira de Iguape, Juquiá, São Lourenço e São Lourencinho (LUCIO *et al.*, 2004).

Na vila de Subaúma, localizada no município de Iguape (Baixo Vale do Ribeira), encontra-se uma jazida de areia que foi lavrada de forma rudimentar na década de 80 para a produção de areia quartzosa para a indústria vidreira e de fundição. A lavra destas areias foi paralisada no início da década de 90 devido à concorrência com jazidas de outras regiões e conflitos ambientais, dada a existência de grandes áreas recobertas com mata nativa.

Contudo, tendo em vista a alta demanda por estes bens e o advento de inovações tecnológicas na extração e beneficiamento dos mesmos, a extração da areia de Subaúma mostrou-se novamente viável e, assim, a Associação dos Mineradores de Areia do Vale do Ribeira retomou o aproveitamento desta jazida.

O presente estudo tem como objetivos a caracterização tecnológica da areia produzida e a avaliação de seu desempenho quando utilizada como agregado miúdo para concretos e argamassas.

## 2 Revisão bibliográfica

Faz-se aqui necessário uma abordagem inicial apresentando-se alguns conceitos, uma vez que existe muita discrepância entre a nomenclatura técnica e a encontrada no mercado.

As areias são bens minerais constituídos predominantemente de quartzo com alto teor de sílica ( $SiO_2$ ) e originam-se dos processos de alteração de rochas e têm uma origem natural, como exemplo praias, dunas e leitos de rios (AZEVEDO, 1990). No entanto, agregados miúdos artificiais podem ser obtidos através da britagem de rochas como basalto ou calcário.

Este estudo irá caracterizar as areias visando sua utilização como agregado miúdo em concretos e argamassas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005a) define agregado miúdo como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na malha de abertura 0,075 mm. Por sua vez, argamassa é definida (ABNT,

2005b) como mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Finalmente, concreto é um material de construção constituído de um aglomerante (cimento Portland) com um ou mais materiais (agregados graúdos e miúdos) e água (FRAZÃO, 2002).

### **3 Materiais e métodos**

Foram coletados cerca de 20 kg de cada fração de areia (média e fina) no porto de Subaúma, município de Iguape – SP.

Estes materiais foram inicialmente caracterizados de acordo com a especificação da NBR 7211 (ABNT, *op. cit.*). Também foi realizado ensaio de reatividade potencial a fim de avaliar a qualidade das areias. Foram ainda realizados estudos de dosagem em que se moldaram corpos-de-prova para determinação da resistência à compressão. Após a definição dos traços foram moldados corpos-de-prova para o ensaio de arranque.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo (PMI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro de Tecnologia de Obras e Infra-Estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

#### **3.1 Amostragem**

Em visita a jazida foi realizada a coleta do material diretamente nas pilhas referentes a cada uma das frações (fina e média) seguindo a norma NBR NM 26 (ABNT, 2001a). É importante frisar que se tomou o devido cuidado para evitar a influência da segregação do material, retirando-se o material da parte central da pilha (longe da base ou do topo) e em diversos pontos espaçados sistematicamente.

As amostras de cada fração somaram cerca de 20 kg e foram ensacadas, identificadas e transportadas até o LTM do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

Após esta coleta, foi realizada uma homogeneização por pilha prismática alongada, segundo Chaves (1990). Este método consistiu em distribuir o material, como é visto na figura abaixo, sendo cada elemento sucessivo construído em direções opostas. Quando se atingia a extremidade da pilha, cessava-se o derramamento da areia.



**Figura 1 - Pilha de homogeneização preparada e retirada das alíquotas**

As pilhas formadas mediam cerca de 3 m de comprimento e delas foram retiradas alíquotas de 2 kg com as quais foi determinada a composição granulométrica de cada fração. O restante do material foi novamente ensacado e então enviado ao IPT.

### 3.2 Determinação da composição granulométrica

Para a determinação da composição granulométrica optou-se pelo peneiramento a úmido utilizando-se as peneiras 1,2 mm, 0,6 mm, 0,2 mm e 0,15 mm para a areia média e 0,6 mm, 0,2 mm, 0,15 mm e 0,075 mm para a areia fina. Empregou-se cerca de 2 kg de cada fração.

A caracterização foi baseada na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003a), porém não foram utilizadas as peneiras da série normal, por se tratar de areias muito finas.

### 3.3 Determinação da massa unitária

A massa unitária de um agregado, em seu estado solto, é obtida pelo quociente da massa do agregado lançado num recipiente e o seu volume, tal qual a expressão 3.1. O procedimento para determinação é descrito pela NBR NM 45 (ABNT, 2006).

$$D = \frac{m_a}{V_r} \quad (3.1)$$

Onde:

$D$  = massa unitária, expressa em  $\text{kg/dm}^3$ ;

$m_a$  = massa do agregado contido no recipiente, expressa em kg; e

$V_r$  = volume do recipiente que contém o agregado, expressa em  $\text{dm}^3$ .

### 3.4 Determinação do teor de materiais pulverulentos

De acordo com Frazão (*op. cit.*), são definidas como partículas finas ou materiais pulverulentos aquelas cuja dimensão é menor que 0,075 mm, abaixo da qual estão o silte (0,002 a 0,074 mm) e a argila (menor que 0,002 mm). Estes materiais ocorrem na forma de película superficial revestindo os grãos de areia, como torrões ou dispersos no agregado.

A determinação baseia-se na norma NBR NM 46 (ABNT, 2003b) e, para tanto, foi utilizado aproximadamente 500g das areias secas em estufa. O material foi colocado em uma bacia com água de modo que as partículas finas ficassem em suspensão. Então se verteu a água de lavagem contendo os sólidos suspensos e dissolvidos sobre a peneira de 0,075 mm. Após este processo, as areias foram secas em estufa e suas massas foram anotadas.

O teor de materiais pulverulentos é calculado como segue:

$$\text{TMP} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

TMP = teor de materiais pulverulentos, em porcentagem;

$M_i$  = massa original da amostra seca, em gramas; e

$M_f$  = massa da amostra seca após lavagem, em gramas.

### 3.5 Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis

Este ensaio definido pela NBR 7218 (ABNT, 1987) determina a quantidade de partículas de grãos de argilas, seus aglomerados e os materiais susceptíveis de serem desfeitos através da pressão dos dedos polegar e indicador.

É importante ressaltar que, como observou Neves (2001), a presença de tais materiais torna-se indesejável quando em grandes quantidades, pois pode comprometer a resistência mecânica do concreto.

Foram utilizados cerca de 200g de cada amostra, apenas da fração passante em 4,75 mm e retida em 1,15 mm. As areias foram dispostas em uma bandeja e após uma avaliação visual a fim de identificar os torrões, iniciou-se o procedimento de pressionar os mesmos para desfazê-los. Por fim, o material foi novamente peneirado, dessa vez na peneira 0,6 mm.

O cálculo realizado para esta determinação foi:

$$M_t = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (3.3)$$

Onde:

$M_t$  = materiais friáveis, em porcentagem;

$M_i$  = massa inicial, em gramas;

$M_f$  = massa final, em gramas.

### 3.6 Determinação de impurezas orgânicas

A matéria orgânica encontrada em agregados consiste geralmente de produtos de decomposição de matéria vegetal e aparece na forma de húmus e argila orgânica. Outras impurezas orgânicas comumente presentes nos agregados são: óleo combustível, açúcares, carvão, linhito e fragmentos vegetais (LUCIO *et al.*, *op. cit.*).

Petrucci (1971, *apud* LUCIO *et al.*, *op. cit.*) constatou que as impurezas orgânicas, quando presentes em quantidades significativas, prejudicam a pega e o endurecimento dos concretos e das argamassas. Isto porque uma parte de húmus, que é ácida, neutraliza a água alcalina da argamassa enquanto a parte restante envolve os grãos de areia, formando uma película sobre eles, impedindo uma perfeita aderência entre o cimento e os grãos do agregado. Sendo assim, os concretos e argamassas preparados com areias com alto teor de matéria orgânica apresentam, em geral, baixa resistência.

Contudo, em alguns casos, a matéria orgânica tem um efeito passageiro, prejudicando a resistência do concreto ou da argamassa somente nas idades mais jovens, chegando a apresentar a mesma resistência da areia limpa após 28 dias. Tais resultados foram obtidos por Neville (1997).

A determinação foi efetuada conforme a NBR NM 49 (ABNT, 2001b), segundo a qual é preparada uma solução padrão com 3 ml de ácido tânico a 2% e 97 ml hidróxido de sódio a 3%. Ao mesmo tempo prepara-se uma solução contendo o agregado (aproximadamente 200g) e 100 ml de uma solução de hidróxido de sódio (3%). Após repouso de 24h e filtragem, a avaliação da quantidade de matéria orgânica é realizada comparando-se a coloração da solução padrão com a solução filtrada que continha o agregado, a qual pode estar mais escura, mais clara ou igual.

### 3.7 Determinação da reatividade potencial pelo método acelerado

O presente método permite a avaliação do comportamento do agregado face uma reação álcali-sílica, a qual ocorre entre os álcalis do cimento e os minerais do grupo da sílica. Os mecanismos de reação ainda não estão bem definidos, entretanto existem várias hipóteses para

explicá-los. Todas elas se baseiam na formação de silicatos alcalinos como causa das ações deletérias.

A reatividade é afetada também pela dimensão das partículas, pela porosidade, pela permeabilidade, pela quantidade de água livre na pasta de cimento e pela variação da temperatura (FRAZÃO, *op. cit.*).

A reatividade álcali/agregado é determinada segundo a norma NBR 15577-4 (ABNT, 2008). Em primeiro lugar são preparadas três barras de argamassa contendo uma relação de água cimento de 0,47 e frações fixas de cada faixa granulométrica conforme a tabela 1. Os corpos-de-prova são deixados por 24 horas em câmara úmida e em seguida imersos em uma solução de NaOH (1N). As barras imersas ficam em uma estufa a 80 °C e eventuais expansões causadas por reações deletérias são medidas periodicamente até serem completados vinte e oito dias.

**Tabela 1 - Distribuição granulométrica dos agregados a serem ensaiados**

Faixa granulométrica (mm)	Porcentagem em massa (%)
4,75 ≤ d ≤ 2,36	10
2,36 ≤ d ≤ 1,18	25
1,18 ≤ d ≤ 0,60	25
0,60 ≤ d ≤ 0,30	25
0,30 ≤ d ≤ 0,15	15

Fonte: ABNT (*op. cit.*)

A figura a seguir ilustra a moldagem das barras para o ensaio e o equipamento de medição das expansões.



**Figura 2 - Moldagem das barras e medida de uma das expansões**

As expansões são calculadas pela equação seguinte:

$$E_{xp} = (L_n - L_0) / (d_{pinos} \cdot 10) \quad (3.4)$$

Onde:

$E_{xp}$  = expansão da barra de argamassa, em porcentagem;

$L_n$  = leitura do comprimento da barra após n dias imersa na solução a 80 °C, em  $\mu\text{m}$ ;

$L_0$  = leitura da barra, após 24h na solução a 80 °C, em  $\mu\text{m}$ ;

$d_{\text{pinos}}$  = distância entre os pinos, em mm.

### 3.8 Determinação do índice de consistência

A consistência (*flow*) da mistura água, cimento e agregado foi especificada em  $250 \pm 5$  mm para argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. O método é prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005c)

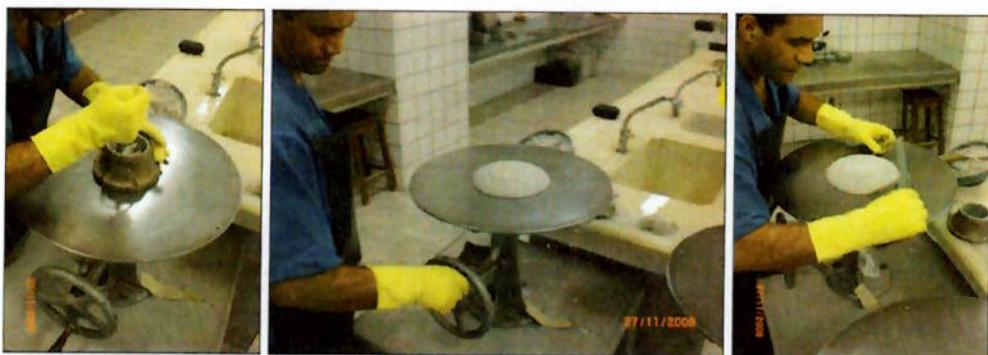
O procedimento consiste em misturar água e cimento por 30 s na velocidade menor no misturador exibido na figura 3 e em seguida acrescentar o agregado nos 30 s seguintes mantendo a velocidade. Depois misturar mais 30 s na velocidade maior, aguardar 90 s repousando e, finalmente, mais 60 s na maior velocidade.



Figura 3 - Misturador mecânico

Uma vez preparada a massa, é preenchido o molde em forma de tronco de cone (figura 4) com três camadas sucessivas de mesma altura e é aplicado em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com um soquete. Então, é retirado o excesso com uma espátula.

Por fim, acionando-se a manivela da mesa para determinação do índice de consistência (figura 4), são aplicados 30 golpes, isto é, 30 movimentos de subida e queda abrupta em 30 s e após a trigésima queda mede-se com o paquímetro três diâmetros da mistura que se espalhou. O resultado é a média destas medidas.



**Figura 4 - Molde e mesa para determinação do índice de consistência**

Caso não seja atingido o *flow* desejado, o procedimento é repetido alterando-se a proporção de água e cimento.

### 3.9 Determinação da resistência à compressão

Os ensaios foram conduzidos considerando-se três traços (relação cimento/agregado) distintos. Foram eles 1:6, 1:8 e 1:10.

A resistência foi determinada com base na NBR 7215 (ABNT, 1996), a qual dita que devem ser utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Sendo assim, foram moldados 18 corpos-de-prova nestas dimensões.

Depois de retirados dos moldes e capeados com enxofre e pozalana, os corpos-de-prova ficaram dispostos em uma câmara úmida, imersos em água até as datas dos ensaios, os quais se realizaram em 3, 7 e 28 dias.

Neste trabalho foi utilizada uma prensa hidráulica da marca Mohr & Federhaff AG, com velocidade de carregamento igual a  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s.



**Figura 5 - Prensa hidráulica utilizada nos ensaios**

A resistência à compressão é dada por:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Onde:

$R_c$  = resistência à compressão, em MPa;

$F$  = carga de ruptura, em N;

$A$  = área da face circular do corpo-de-prova, em  $\text{mm}^2$ .

### 3.10 Determinação da resistência de aderência à tração

O ensaio é conduzido segundo a NBR 13528 (ABNT, 1995), que diz que a resistência de aderência à tração é a tensão máxima suportada por um corpo-de-prova de revestimento, na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.

A argamassa deve ser preparada da mesma maneira que no ensaio de resistência à compressão. Ela é então aplicada no substrato padrão, isto é, a superfície de aplicação, a qual pode ser de alvenaria, componente de alvenaria (bloco ou tijolo) ou superfície de concreto.

A determinação é dada pela equação:

$$R_a = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

Onde:

$R_a$  = resistência de aderência à tração, em MPa;

$F$  = carga de ruptura, em N;

$A$  = área da pastilha colada na argamassa, em  $\text{mm}^2$ .

## 4 Apresentação e discussão dos resultados obtidos

### 4.1 Análise granulométrica

Os resultados obtidos após o peneiramento a úmido das duas amostras estão apresentados nas tabelas 2 e 3:

**Tabela 2 - Composição granulométrica da areia fina**

Areia Fina - Análise Granulométrica					
Abertura (mm)	Abertura da malha (Tyler)	massa retida (g)	% retida por malha	% retida acumulada	% passante acumulada
0,6	28#	268,9	14,0%	14,0%	86,0%
0,212	65#	539,4	28,1%	42,1%	57,9%
0,15	100#	480,2	25,0%	67,1%	32,9%
0,075	200#	597,5	31,1%	98,2%	1,8%
Fundo		34,8	1,8%	100,0%	0,0%
Total		1920,8	100,0%	-	-

**Tabela 3 - Composição granulométrica da areia média**

Areia Média - Análise Granulométrica					
Abertura (mm)	Abertura da malha (Tyler)	massa retida (g)	% retida por malha	% retida acumulada	% passante acumulada
1,2	14#	702,9	35,2%	35,2%	64,8%
0,6	28#	499,5	25,0%	60,2%	39,8%
0,212	65#	280,8	14,1%	74,3%	25,7%
0,15	100#	209,7	10,5%	84,8%	15,2%
0,075	200#	273,6	13,7%	98,5%	1,5%
Fundo		29,5	1,5%	100,0%	0,0%
Total		1996,0	100,0%	-	-

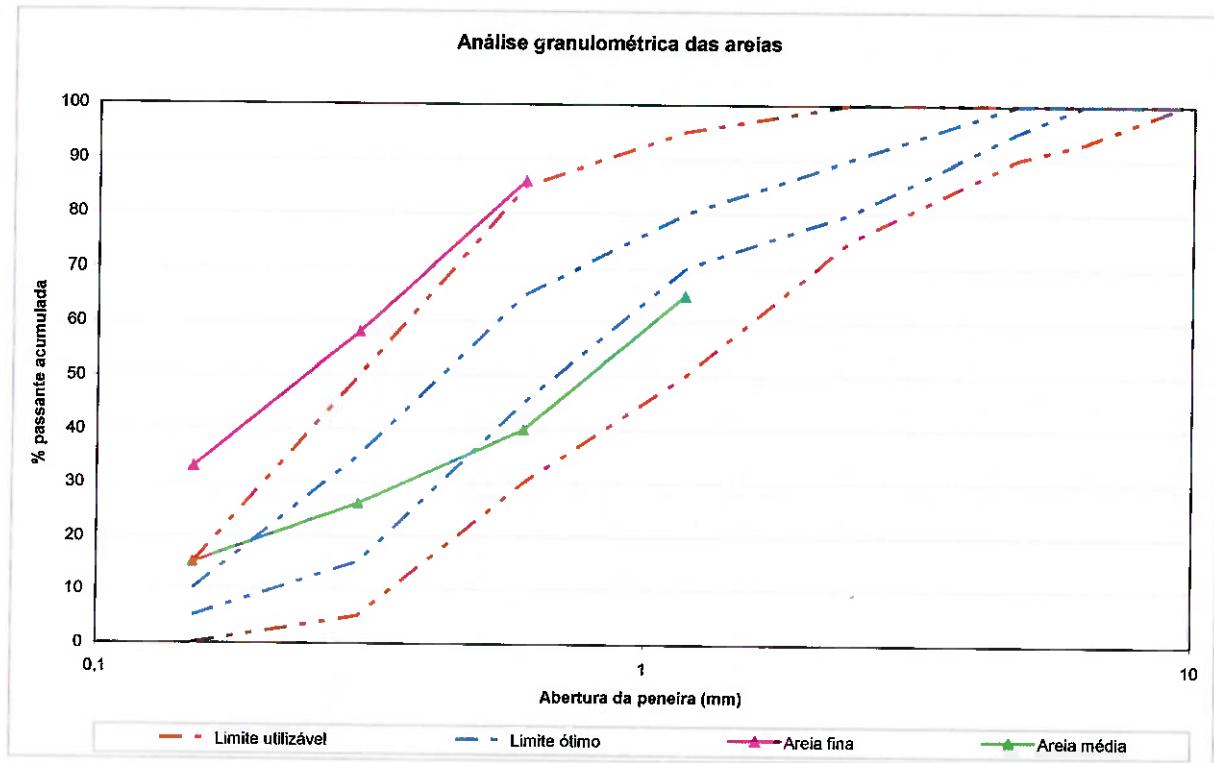
A norma NBR 7211 (ABNT, *op. cit.*) apresenta a tabela 4, a qual estabelece os limites das faixas granulométricas do agregado miúdo para o emprego em argamassas.

**Tabela 4 - Limites granulométricos de agregado miúdo**

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem, em massa, passante acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5	100	100	100	100
6,3	100	100	100	93
4,75	100	100	95	90
2,36	100	90	80	75
1,18	95	80	70	50
0,6	85	65	45	30
0,3	50	35	15	5
0,15	15	10	5	0

Fonte: ABNT (*op. cit.*)

A seguir uma comparação da análise granulométrica das areias fina e média de Subaúma frente aos limites estabelecidos pela norma NBR-7211 (ABNT, *op. cit.*).



**Figura 6 - Limites da NBR-7211 (ABNT, *op. cit.*) e distribuição granulométrica das areias**

Analizando o gráfico, nota-se que a areia média atende muito bem as exigências da referida norma, permanecendo entre as fronteiras da zona utilizável. Já a areia fina está ligeiramente fora dos limites impostos, contudo é importante frisar que apenas este fato não atesta que tal material seja impróprio para o uso em argamassas (INOUE, 2007).

#### 4.2 Massa unitária

Para definirmos a massa unitária foram realizadas três determinações para cada amostra, dividindo-se a massa da areia pelo volume do recipiente, o qual apresentava  $14,55 \text{ dm}^3$ . A média obtida para a areia fina foi de  $1,030 \text{ kg/dm}^3$  e  $1,136 \text{ kg/dm}^3$  no caso da areia média. Os resultados podem ser verificados nas tabelas 5 e 6.

**Tabela 5 - Determinação da massa unitária - areia fina**

Areia fina			
Determinação	Massa (kg)	Volume ( $\text{dm}^3$ )	Massa unitária( $\text{kg/dm}^3$ )
1	15,06	14,55	1,035
2	14,96	14,55	1,028
3	14,94	14,55	1,027
Média = 1,030			

**Tabela 6 - Determinação da massa unitária - areia média**

Areia média			
Determinação	Massa (kg)	Volume (dm <sup>3</sup> )	Massa unitária(kg/dm <sup>3</sup> )
1	16,44	14,55	1,130
2	16,60	14,55	1,141
3	16,56	14,55	1,138
<b>Média = 1,136</b>			

#### 4.3 Materiais pulverulentos

Esta determinação foi obtida por meio da média de dois resultados individuais. Os números de ambas as amostras estão explicitados na tabela 7.

**Tabela 7 - Teor de materiais pulverulentos**

Areia	Determinação	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Resultado Individual (%)	Média (%)
Fina	1	539,8	534,2	1,04	0,90%
	2	517,8	513,9	0,75	
Média	1	514,5	510,4	0,80	0,89%
	2	515,2	510,1	0,99	

#### 4.4 Teor de argila em torrões e materiais friáveis

Não foram encontradas quantidades significativas de argila e materiais friáveis, conforme mostrado na tabela 8, que traz os resultados tanto para a areia fina quanto para a média.

**Tabela 8 - Teor de argila em torrões**

Areia	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de argila (%)
Fina	233,6	229,4	1,8%
Média	204,0	203,1	0,4%

#### 4.5 Impurezas orgânicas

Avaliando a figura 7, temos a constatação de que as areias apresentam teores excessivos de impurezas orgânicas, uma vez que suas soluções possuem cores mais escuras que a solução padrão. Em contrapartida, a análise visual das amostras não revela presença de fragmentos vegetais em quantidade significativa.



Figura 7 – Solução padrão entre as amostras de areia fina e areia média

#### 4.6 Reatividade potencial

As expansões ocasionadas pela reação álcali-agregado observadas nos ensaios de reatividade potencial, apresentam-se nas tabelas e gráficos a seguir:

Tabela 9 - Evolução da expansão das barras confeccionadas com a areia fina

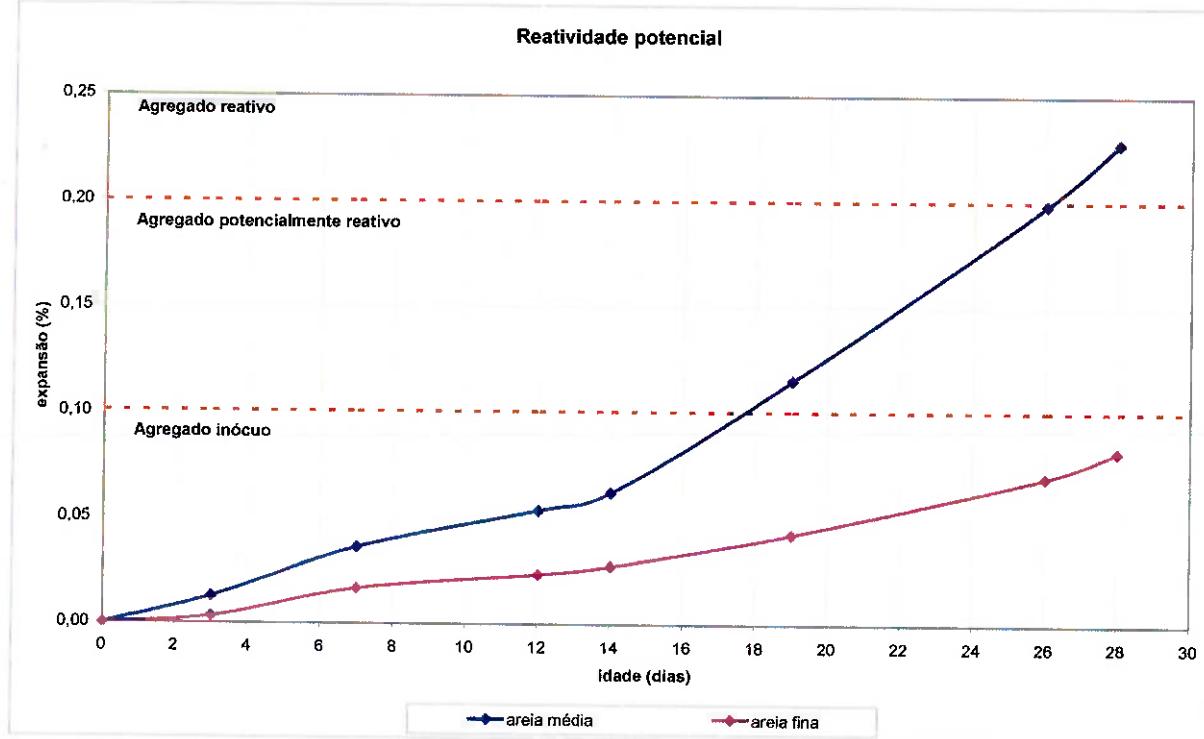
Idade (dias)	Idade	Areia Fina			Expansão Média (%)
		C.P. nº 01	C.P. nº 02	C.P. nº 03	
0	L0 - 28/mar	<b>4190</b>	3600	3635	0,000
	<b>expansão</b>	0,000	0,000	0,000	
3	31/mar	4222	3562	3666	0,003
	<b>expansão</b>	0,012	-0,015	0,012	
7	4/abr	4262	3616	3677	0,017
	<b>expansão</b>	0,028	0,006	0,016	
12	9/abr	4288	3630	3690	0,023
	<b>expansão</b>	0,038	0,012	0,021	
14	11/abr	4300	3644	3695	0,027
	<b>expansão</b>	0,042	0,017	0,023	
19	16/abr	4335	3674	3747	0,042
	<b>expansão</b>	0,056	0,028	0,043	
26	23/abr	4391	3760	3815	0,069
	<b>expansão</b>	0,077	0,062	0,069	
28	25/abr	4420	3790	3850	0,081
	<b>expansão</b>	0,088	0,073	0,083	

$d_{pinos} = 256 \text{ mm}$
Data da Moldagem: 26/03/08
Temperatura da sala: 23,8°C
Umidade da sala: 66%

Tabela 10 - Evolução da expansão das barras confeccionadas com a areia média

Idade (dias)	Leitura	Areia Média			Expansão Média (%)
		C.P. n° 01	C.P. n° 02	C.P. n° 03	
0	L0 - 28/mar	<b>4108</b>	<b>4155</b>	<b>4050</b>	0,000
	<b>expansão</b>	0,000	0,000	0,000	
3	31/mar	<b>4145</b>	<b>4185</b>	<b>4083</b>	0,013
	<b>expansão</b>	0,014	0,012	0,013	
7	4/abr	<b>4220</b>	<b>4250</b>	<b>4125</b>	0,036
	<b>expansão</b>	0,043	0,037	0,029	
12	9/abr	<b>4260</b>	<b>4300</b>	<b>4171</b>	0,054
	<b>expansão</b>	0,058	0,056	0,047	
14	11/abr	<b>4280</b>	<b>4327</b>	<b>4190</b>	0,062
	<b>expansão</b>	0,066	0,066	0,054	
19	16/abr	<b>4420</b>	<b>4460</b>	<b>4330</b>	0,115
	<b>expansão</b>	0,120	0,117	0,108	
26	23/abr	<b>4638</b>	<b>4670</b>	<b>4555</b>	0,199
	<b>expansão</b>	0,204	0,198	0,194	
28	25/abr	<b>4700</b>	<b>4760</b>	<b>4630</b>	0,228
	<b>expansão</b>	0,228	0,233	0,223	

$d_{pinos} = 256 \text{ mm}$   
 Moldagem: 26/03/08  
 Temperatura da sala: 23,8°C  
 Umidade da sala: 66%

Figura 8 - Evolução da expansão e limites após 16 dias da NBR 15577 (ABNT, *op. cit*)

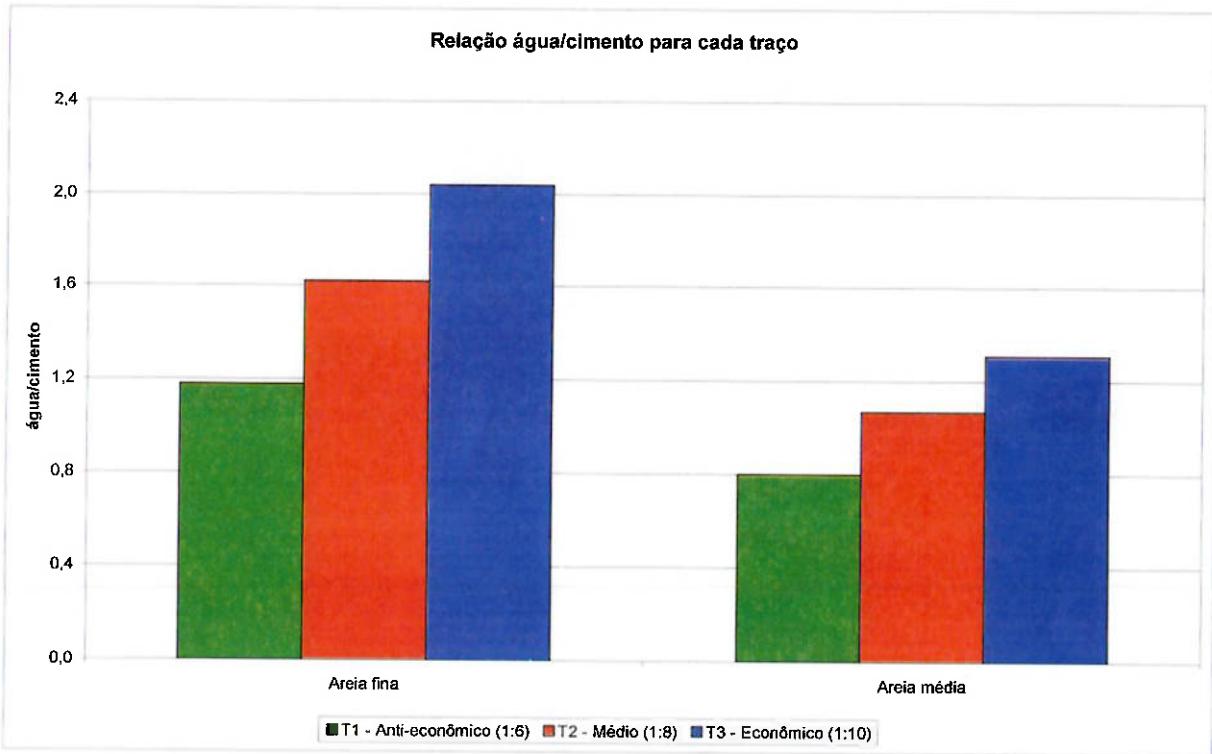
A norma dita que a expansão é inócuia para resultado menor que 0,1% aos 16 dias de ensaio e deletéria caso maior que 0,2% passados os mesmos 16 dias. Tais limites estão expressos na figura 8, a qual revela que os materiais estudados são inócuos.

#### 4.7 Consistência das argamassas

Foi necessário atingir uma consistência de  $250 \pm 5$  mm, que foi o valor sugerido para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Para tanto, fez-se necessário encontrar a quantidade de água que deveria ser adicionada a cada um dos três traços estabelecidos de cimento e agregado. Os resultados podem ser apreciados nas tabelas e gráficos que seguem.

**Tabela 11 - Relações água/cimento para cada um dos traços estabelecidos**

Traço (cimento:areia)	Areia fina		Areia média	
	Índice de consistência (mm)	Relação água/cimento	Índice de consistência (mm)	Relação água/cimento
T1 - 1 : 6	250	1,18	249	0,80
T2 - 1 : 8	245	1,62	250	1,07
T3 - 1 : 10	248	2,04	245	1,31



**Figura 9 - Relação mássica entre água e cimento para cada um dos traços estabelecidos**

#### 4.8 Resistência à compressão

As determinações das resistências de cada corpo-de-prova contendo areia fina e média estão explicitadas nas tabelas 12 e 13 respectivamente, para 3, 7 e 28 dias.

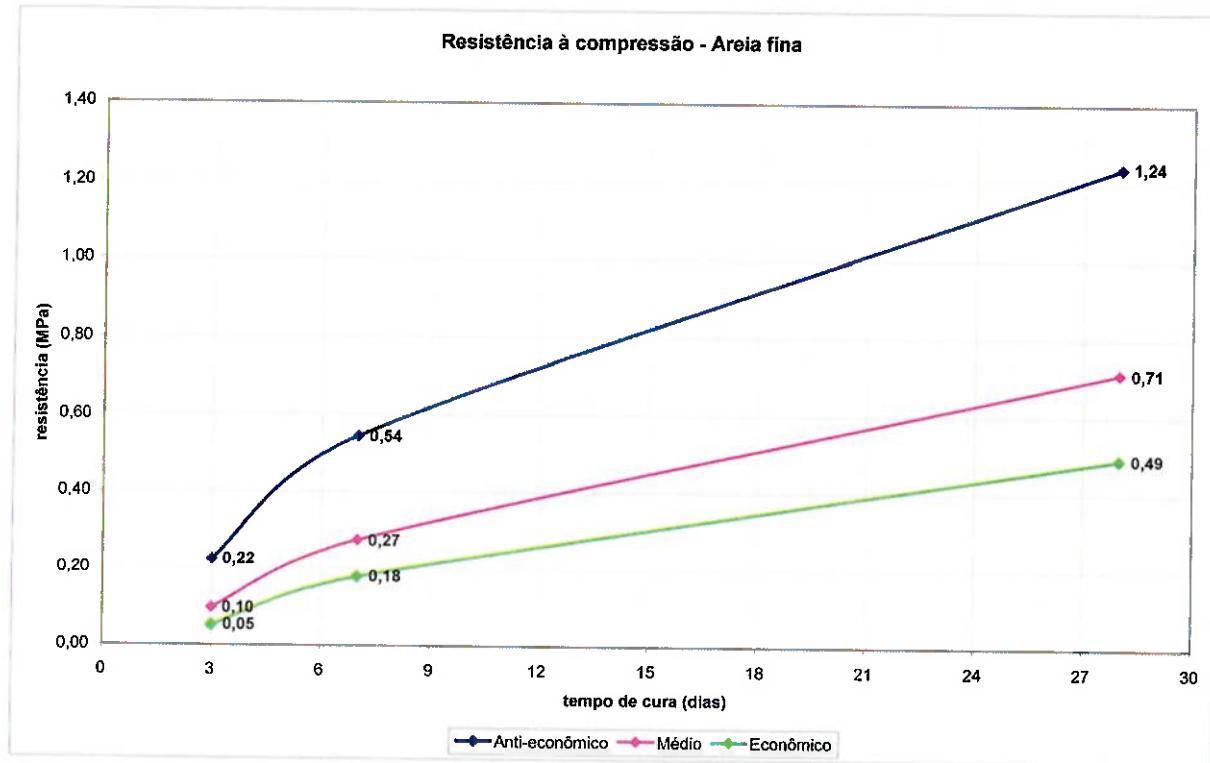
**Tabela 12 - Resistência à compressão dos concretos preparados com a areia fina**

Traço	Idade (dias)	Areia fina				
		Carga de ruptura (kgf)		Tensão de Ruptura (MPa)		
		C.P. 01	C.P. 02	C.P. 01	C.P. 02	Média
1:6	3	46,0	43,4	0,23	0,22	0,22
	7	109,8	108,0	0,55	0,54	0,54
	28	246,6	249,8	1,23	1,25	1,24
1:8	3	19,8	19,0	0,10	0,09	0,10
	7	56,6	53,0	0,28	0,26	0,27
	28	138,6	146,6	0,69	0,73	0,71
1:10	3	10,8	10,4	0,05	0,05	0,05
	7	37,0	34,8	0,18	0,17	0,18
	28	99,2	98,0	0,50	0,49	0,49

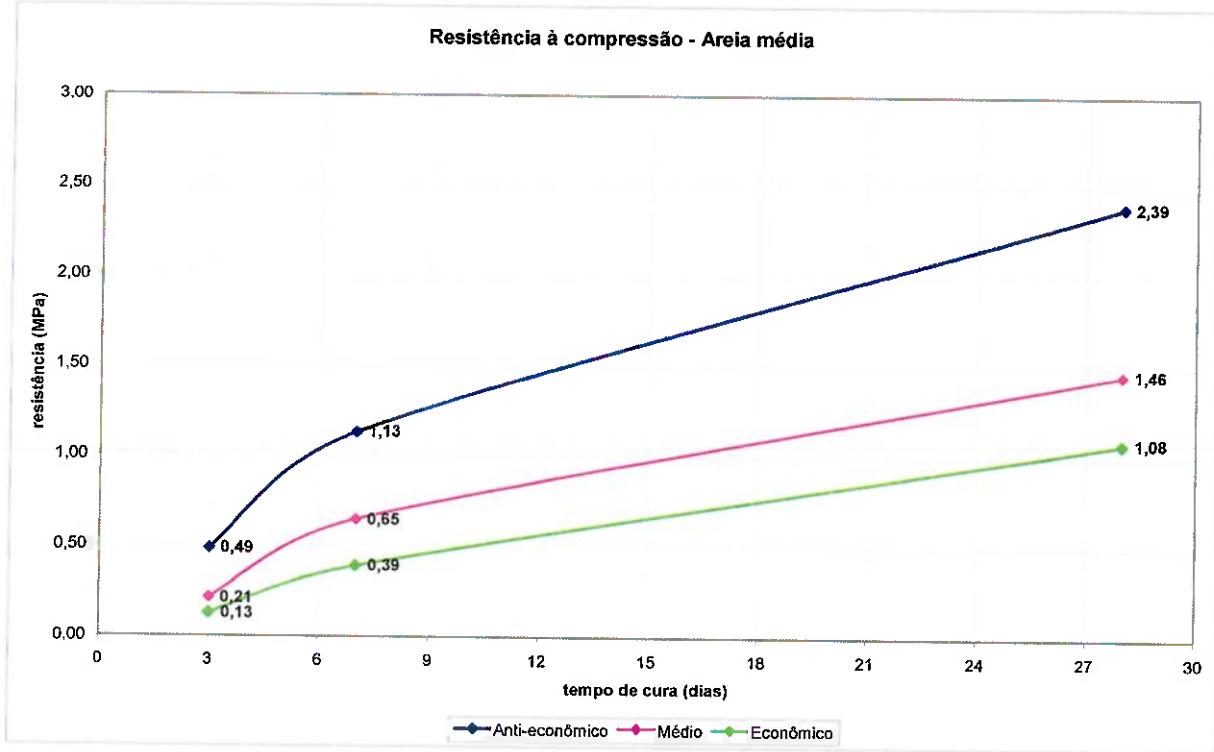
**Tabela 13 - Resistência à compressão dos concretos preparados com a areia média**

Traço	Idade (dias)	Areia média				
		Carga de ruptura (kgf)		Tensão de Ruptura (MPa)		
		C.P. 01	C.P. 02	C.P. 01	C.P. 02	Média
1:6	3	99,4	95,8	0,50	0,48	0,49
	7	223,0	229,8	1,11	1,15	1,13
	28	507,6	449,0	2,54	2,24	2,39
1:8	3	42,4	43,4	0,21	0,22	0,21
	7	135,0	124,0	0,67	0,62	0,65
	28	299,6	283,8	1,50	1,42	1,46
1:10	3	25,4	26,6	0,13	0,13	0,13
	7	82,8	74,6	0,41	0,37	0,39
	28	216,2	216,6	1,08	1,08	1,08

Percebe-se por meio das tabelas ou mesmo pelos gráficos apresentados a seguir que a areia média apresenta resultado mais satisfatório do que a areia fina qualquer que seja o traço considerado.



**Figura 10 - Resistência à compressão dos três traços da areia fina**



**Figura 11 - Resistência à compressão dos três traços da areia média**

A fim de prosseguirmos com os ensaios, foi fixado a resistência de 1,0 MPa, resultando no traço 1:6 para a areia fina e 1:10 para a média. Este valor de resistência está dentro da faixa da norma NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT, *op. cit.*), enquadrando-se na classificação I.

#### 4.9 Resistência de aderência à tração

Pode-se dizer que os resultados para este ensaio foram bastante satisfatórios, uma vez que apresentaram para as areias fina e média as resistências médias de 0,36 e 0,79 MPa respectivamente e o limite inferior da NBR 13281 (ABNT, *op. cit.*) é igual a 0,30 MPa para a melhor classe de argamassas.

**Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração - Areia fina**

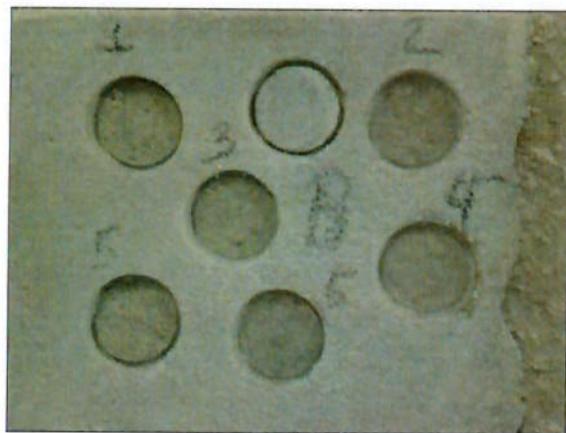
Areia fina		
Determinação	Leitura do equipamento (N)	Tensão de ruptura (MPa)
1	600	0,31
2	700	0,36
3	250	0,13
4	1300	0,66
5	1100	0,56
6	300	0,15
<b>Média</b>	<b>708,3</b>	<b>0,36</b>

**Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração - Areia média**

Areia média		
Determinação	Leitura do equipamento (N)	Tensão de ruptura (MPa)
1	2000	1,02
2	1200	0,61
3	1700	0,87
4	2200	1,12
5	900	0,46
6	1250	0,64
<b>Média</b>	<b>1541,7</b>	<b>0,79</b>

A explicação de que algumas destas determinações apresentaram piores resultados se dá uma vez que algumas rupturas ocorreram entre as chapadas de argamassa aplicadas para o ensaio. Verifica-se que houve determinações que chegaram a 0,7 MPa para a areia fina e até 1,1 MPa no caso da areia média, ratificando o ótimo desempenho.

Podemos observar também pela figura 12, que além de apresentar boa resistência de aderência, não ocorreu descolamento das placas de argamassa do substrato.



**Figura 12 - Detalhe das superfícies logo após o ensaio de resistência à aderência**

## 5 Conclusões e sugestões de continuidade do estudo

Tendo em vista os dados obtidos, pode-se concluir que as areias produzidas possuem características tecnológicas adequadas ao aproveitamento como agregado miúdo tanto para concretos quanto para argamassas.

De todos os índices de qualidade determinados, o excesso de impurezas orgânicas é a única característica que poderia comprometer seu desempenho nos concretos e nas argamassas. Todavia, como colocado anteriormente, a matéria orgânica tem um efeito passageiro, prejudicando a resistência do concreto ou da argamassa temporariamente. Caso realmente haja problemas com estas impurezas, pode-se adequar as operações de beneficiamento e incluir uma etapa de lavagem da areia.

Observa-se que as resistências de compressão e de aderência (figuras 10 e 11 e tabelas 14 e 15) são satisfatórias até mesmo para uma relação cimento/areia extremamente econômica, principalmente no caso do material composto pela areia média.

A areia fina necessita de um consumo de água mais elevado, uma vez que apresenta área de superfície específica maior, e consequentemente se faz necessária quantidade superior de cimento, tornando o concreto ou argamassa mais caros.

Como sugestão, pode-se aprofundar o conhecimento sobre os concretos e argamassas elaborados com estas areias com ensaios de índice de vazios, teor de ar incorporado, retenção de água e retração na secagem, bem como ensaios de microscopia com a finalidade de visualizar a interface entre cimento e agregados.

Outra proposta é a avaliação do mercado consumidor de concretos e argamassas na Baixada Santista e Vale do Ribeira com a finalidade de adequar o agregado produzido às exigências deste mercado.

## Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2001a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR NM 49**: Agregado fino – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 7211**: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 13281**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 15577-4**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008.
- AZEVEDO, R. M. B. – **Areia para construção**. In: IPT. Mercado Produtor Mineral do Estado de São Paulo – Levantamento e Análise. São Paulo, 1990.

CHAVES A. P. – **Amostragem** – Curso apostilado, na Disciplina: Manuseio de materiais e operações auxiliares – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) – **Sumário mineral 2008**. Brasília, 2008.

FRAZÃO, E. B. – **Tecnologia de rochas na construção civil**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, 2002.

INOUE, J.K. – **Uso de finos de pedreira, gerados no processo de britagem com britador de impacto vertical (VSI), em argamassas** – Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

LUCIO, M. P.; SOARES, L. - **Caracterização tecnológica das areias de Subaúma (Iguape-SP) para utilização em concretos**. São Paulo: EPUSP (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, BT/PMI/209 – 2004.

NEVES, L. – **Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais** – Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

NEVILLE, A. M. – **Propriedades do concreto** – 2<sup>a</sup> edição. Trad. de Salvador E. Giamusso. São Paulo, 1997.

PETRUCCI, E. G. – **Concreto de cimento Portland** – 13<sup>a</sup> edição, Ed Globo. São Paulo, 1971.

VALVERDE, F. M.– **Agregados para construção civil** *In: DNPM: Anuário mineral brasileiro*. Brasília, 2001.